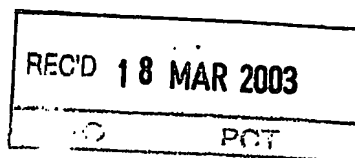




5/3/3
10/502278



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 17 560.8

Anmeldetag: 19. April 2002

Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung eV, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Bestimmung und Kompensation
von Geometriefehlern eines Drehgeberrades

Priorität: 24.01.2002 DE 102 02 688.2

IPC: G 01 P, G 01 M

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 20. Februar 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Weihmeyer

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

Rösler Patentanwaltskanzlei, Landsberger Str. 480 a, 81241 München

Deutsches Patent- und Markenamt

**Zweibrückenstr. 12
80297 München**

**Uwe Th. Rösler, Dipl.-Phys.
Dr. Roland Gagel, Dipl.-Phys.***

**Patentanwälte,
European Patent Attorneys,
European Trademark Attorneys**

**Telefon: +49/(0)89/820 477 120
Telefax: +49/(0)89/820 477 121
email: ur@urpatent.com**

**17.04.2002, R5/He
Unser Zeichen: F102R197**

Neue Deutsche Patentanmeldung

Anmelder:

**Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.,
Leonrodstr. 54, 80636 München**

**Verfahren zur Bestimmung und Kompensation von Geometriefehlern eines
Drehgeberrades**

Technisches Gebiet

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Bestimmen von Geometriefehlern eines an einem Verbrennungsmotor applizierten Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoriell erfassbaren Inkrementen, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch die Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist.

Stand der Technik

An moderne Verbrennungsmotoren, wie sie vornehmlich im Kfz-Bereich eingesetzt werden, aber auch in anderen technischen Bereichen Verwendung finden, bspw. zur Stromerzeugung, werden zunehmend höhere Anforderungen in Bezug auf Komfort und Zuverlässigkeit gestellt. Aber auch aufgrund stetig strenger werdender Abgasnormen gilt es, das Betriebsverhalten derartiger Motoren möglichst genau zu überwachen, wobei in diesem Zusammenhang eine möglichst genaue Kenntnis über die aktuelle Drehzahl bzw. aktuelle Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle von zentraler Bedeutung ist. Zum Zwecke der Erfassung der Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit wird in an sich bekannter Weise an der Kurbelwelle oder an der mit der Kurbelwelle in Wirkverbindung stehenden Nockenwelle des Verbrennungsmotors ein Drehgeberrad bzw. Inkrementgeber angebracht, dessen Rotationsgeschwindigkeit von einem berührungsfrei arbeitenden Aufnahmesystem erfasst wird. Das Erfassen der auf dem Drehgeberrad vorhandenen Markierungen bzw. Inkremente erfolgt typischerweise optisch oder induktiv.

Typischerweise zeichnen sich Drehgeberräder durch eine längs ihres Umfangsrandes vorhandene Zahnteilung aus, die eine Vielzahl vorzugsweise gleich voneinander beabstandeter Zähne, die sog. Inkremente, vorsieht. Bei Rotation derartiger Drehgeberräder wird im Aufnahmesystem eine in Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit des Drehgeberrades stehende zeitliche Abfolge von Messimpulsen erzeugt, anhand derer Maße für die aktuelle Winkelgeschwindigkeit der mit dem Drehgeberrad verbundenen Welle gewonnen werden können.

Jedoch weisen Drehgeberräder unvermeidbare Fehler auf, die auf fertigungstechnische Fehler, wie bspw. ungleiche Zahn- bzw. Inkrementteilung, oder montagebedingte Fehler, wie bspw. unzentrische Lagerung des Drehgeberrades auf der zu vermessenden Welle, zurückzuführen sind.

Derartige Fehler führen zu nicht tolerablen Abweichungen bei der hochgenauen Bestimmung der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle, so dass es gilt, den Fehlereinfluss auf ein Minimum zu reduzieren oder vollständig zu beseitigen.

Im Bestreben, derartige Fehler zu reduzieren sowie zu kompensieren, sind einige, jedoch nur unbefriedigende Lösungsansätze bekannt.

Aus der DE 196 22 448 A1 geht ein Drehzahlerfassungsverfahren zur Zündaussetzererkennung hervor, bei dem das Drehzahlverhalten der Kurbelwelle in vorbestimmten Winkelbereichen erfasst und als Maß für eine Laufunruhe definiert wird. Es werden Korrekturwerte durch Vergleich der ermittelten Laufunruhe mit einem vorbestimmten Referenzwert ermittelt, die für die weitere Drehzahlerfassung und deren Korrektur zugrunde gelegt werden. Hierbei erfolgt lediglich eine segmentweise, zylinderspezifische Korrektur des Drehzahlsignals.

In ähnlicher Weise erfolgt beim Verfahren zur Korrektur von Toleranzen eines Geberrades gemäß der DE 197 33 958 A1 ein Vergleich einzelner Messwerte mit einem Referenzwert zur Ermittlung geeigneter Korrekturwerte, die der genauen Bestimmung der Wellendrehzahl zugrunde gelegt werden. Auch in diesem Fall wird lediglich eine segmentweise Korrektur des Drehzahlsignals mit geringer Winkelauflösung durchgeführt.

In den beiden vorstehend genannten Fällen sind genaue Kenntnisse über die jeweiligen Verbrennungsmotoren erforderlich, um die für die Korrekturwertbestimmung notwendigen Referenzwerte zu ermitteln.

Aus der DE 42 10 933 A1 ist ebenfalls ein Verfahren zur Auswertung der Ausgangssignale eines Drehzahlsensors zu entnehmen, bei dem zur Drehzahlbestimmung einer Welle jeweils mehrere Zählkremente eines an der Welle sitzenden Drehgeberrades zusammengefasst werden, so dass die Winkelauflösung, mit der die Winkelgeschwindigkeit des Drehgeberrades erfasst wird, letztlich mit zunehmender Größe des sektoriellen Bereiches des Drehgeberrades, in dem die zur

Messung zusammengefassten Zählinkremente vorhanden sind, abnimmt. Darüber hinaus bedarf es auch bei diesem Verfahren Motor- bzw. Drehgeberrad-individuelle Schwellwertvorgaben, die eine möglichst genaue Vorabkenntnis des Systems voraussetzen.

Darstellung der Erfindung

Es besteht die Aufgabe, ein Verfahren zur Bestimmung von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl sensoruell erfassbarer Inkremente für einen Verbrennungsmotor derart anzugeben, dass mit möglichst einfachen Korrekturmitteln eine höchst exakte Fehlerbestimmung möglich sein soll. Insbesondere soll das Verfahren die Bestimmung der Geometriefehler inkrementaufgelöst ermöglichen, ohne dabei eine Vorabinformation über den Verbrennungsmotor oder das Drehgeberrad voraussetzen zu müssen.

Die Lösung der der Erfindung zugrunde liegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der Beschreibung im Einzelnen zu entnehmen.

Erfindungsgemäß ist das Verfahren zur Bestimmung von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoruell erfassbaren Inkrementen für einen Verbrennungsmotor, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist, dadurch ausgezeichnet, dass bei einer zeitlich veränderlichen Wellendrehzahl eine Messung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes der Welle sowie eine Mittelung über die bei der Messung gewonnenen arbeitsspielsynchronen Wellendrehzahlssignale durchgeführt wird.

Bei der Mittelung ist darauf zu achten, dass sie innerhalb eines Wellendrehzahlbereiches durchgeführt wird, in dem sich die im Verbrennungsmotor auf die Welle einwirkenden Gas- und Massenmomente gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben.

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt in vorteilhafter Weise die Gegenphasigkeit der Gas- und Massenmomente und deren Einfluss auf die Drehzahl der Kurbelwelle, um die Geometriefehler des Drehgeberrades bestimmen und kompensieren zu können.

In einer bevorzugten Verfahrensvariante wird das zeitliche Verhalten der Wellendrehzahl bzw. der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle oder der mit der Kurbelwelle kinematisch verbundenen Nockenwelle eines Verbrennungsmotors mit Hilfe eines Drehgeberrades und eines entsprechenden Aufnahmesystems während eines sog. Auslaufversuches betrachtet, d. h. der Verbrennungsmotor wird nach Erreichen einer hohen Drehzahl, bspw. seiner Höchstdrehzahl, abrupt abgestellt bzw. wird die Brennstoffzufuhr abrupt unterbunden. Aufgrund motorinterner Reibmomente reduziert sich die Drehzahl stetig, bis der Verbrennungsmotor zum Stillstand kommt.

Eingedenk der Tatsache, dass bei einem Verbrennungsmotor, der bei hohen Drehzahlen betrieben wird, die Auswirkungen der von den oszillierenden Komponenten herrührenden Massenmomente auf die Kurbelwelle gegenüber jenen der Gasmomente, d. h. der durch die Kompression und Expansion des Brennstoff-Luftgemisches (bzw. der Luft im Schubbetrieb) herrührenden Momente, dominieren und in umgekehrter Weise bei niedrigen Drehzahlen die Einflüsse der Gasmomente gegenüber denen der Massenmomente auf die Kurbelwelle dominieren, durchläuft der Verbrennungsmotor während des Auslaufversuches einen Drehzahlbereich, in dem sich die Auswirkungen der Massen- und Gasmomente gegenseitig kompensieren.

Eben jener Drehzahlbereich wird zur Bestimmung der Geometriefehler eines Drehgeberrades herangezogen, der sich jedoch alternativ zu dem vorstehend genannten Auslaufversuch auch im Zuge sog. Schlepp- oder Drückungsversuche ergibt, bei denen sich in gleicher Weise Massen- und Gasmomente in ihren Auswirkungen auf die Kurbelwelle bzw. Kurbelwellendrehzahl zumindest weitgehend

statistisch aufheben. Handelt es sich bei dem jeweiligen Verbrennungsmotor um einen ungeradzahlig-zyklindrigen Verbrennungsmotor, so ist aufgrund der Symmetrieverhältnisse bei derartigen Motoren die Forderung nach weitgehender statistischer Gleichverteilung der Auswirkungen der Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit nicht zwingend erforderlich, da das Drehzahlsignal zweier aufeinanderfolgender Umdrehungen eines Arbeitsspiels bei solchen Motoren von vornherein als gegenphasig bezeichnet werden kann. Deshalb ist in diesem Fall jede beliebige Messung als Basis für die Geberradadaption geeignet.

Im Einzelnen lässt sich die Geometriefehlerbestimmung eines Drehgeberrades in der nachstehenden Weise unter Bezugnahme auf die Figuren ohne Einschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens angeben. Es zeigen:

Fig. 1 schematisierte Darstellung eines hälftig dargestellten Drehgeberrades sowie

Fig. 2 schematisierter Ablaufplan der Geometriefehlerbestimmung.

Ausgehend von einem Drehgeberrad D, das in Figur 1 schematisch in hälftiger Darstellung gezeigt ist und dessen Umfangsrand U eine Vielzahl einzelner, vorzugsweise voneinander gleich beabstandet angeordneter Zähne Z aufweist, werden folgende Bezeichnungen, auf die im Weiteren Bezug genommen wird, eingeführt. Es sei angenommen, dass sich ein für die Winkelinkrementmessung relevantes Bogenmaß $\Delta\varphi_r(z)$, auch als Winkelinkrement des realen Drehgeberrades bezeichnet, aus einem Anteil $\Delta\varphi_i$, der der Teilung eines als ideal angenommenen Drehgeberrades entspricht, und einem vom jeweiligen Winkelinkrement abhängigen Fehler $\Delta\varphi_e(z)$ zusammensetzt. In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass das sensoruell erfassbare Winkelinkrement dem Mittenabstand zweier längs des Umfangsrandes U des Drehgeberrades D benachbart angeordneter Zähne Z entspricht. Somit gilt für das real erfassbare Winkelinkrement:

$$\Delta\varphi_r(z) = \Delta\varphi_i(z) + \Delta\varphi_e(z).$$

Zur Bestimmung des von jedem Zahn bzw. Inkrement abhängigen inkrementellen Fehlers $\Delta\varphi_e(z)$ bedarf es daher der Ermittlung von $\Delta\varphi_r(z)$, sofern man unterstellt, dass der Wert für die ideale inkrementelle Teilung $\Delta\varphi_i$ als bekannt vorausgesetzt werden kann.

Ausgehend von vorstehenden Überlegungen sind zur Geometriefehlerbestimmung folgende einzelnen Verfahrensschritte durchzuführen, deren schematisierte Abfolge aus Figur 2 zu entnehmen ist. Zunächst gilt es, die Winkelgeschwindigkeit mit Hilfe des inkrementellen Drehgeberrades nebst Aufnehmer zu messen (Schritt 1). Durch die Messung wird ein zeitabhängiges Winkelgeschwindigkeitssignal $\omega_{\text{Mess}}(t)$ erhalten, auf dessen Basis eine mittlere Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ pro Wellenumdrehung n zumindest näherungsweise berechnet wird (Schritt 2). Zur Bestimmung von $\bar{\omega}_n$ wird die erfasste Zeitdauer Δt_n zugrundegelegt, die das Drehgeberrad für eine vollständige Umdrehung benötigt. Somit ergibt sich für $\bar{\omega}_n$:

$$\bar{\omega}_n = \frac{360^\circ}{\Delta t_n}.$$

Unter Zugrundelegung vorstehender Beziehung wird für jede Umdrehung n eines in Betracht kommenden Drehzahlbereiches die entsprechende mittlere Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ berechnet. Für den vorstehend beschriebenen Fall der Durchführung eines Auslaufversuches mit einem Verbrennungsmotor bedeutet dies die Berechnung der mittleren Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ für jede Umdrehung n des Verbrennungsmotors, beginnend mit der Höchstdrehzahl und endend mit dem Stillstand des Verbrennungsmotors (Schritt 3). Mit den damit ermittelten mittleren Winkelgeschwindigkeiten $\bar{\omega}_n$ pro Umdrehung n wird ein mittlerer Winkelgeschwindigkeitsverlauf gebildet, der als Streckenzug angenähert wird, dessen Steigung bei der Umdrehung n sich aus der mittleren Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{n-1}$ der vorherigen Umdrehung und der Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_{n+1}$ der folgenden Umdrehung ergibt (Schritt 4).

Der mit Hilfe der vorstehenden Geradenapproximation erhaltene mittlere Winkelgeschwindigkeitsverlauf kann überdies in vorteilhafter Weise mittels geeigneter Polynome angeglichen werden, wodurch die Genauigkeit für eine Abschätzung des tatsächlichen mittleren Drehzahlverlaufes verbessert werden kann. Auf diese Weise wird der Winkelgeschwindigkeitsverlauf $\omega_n(z)$ pro Umdrehung n für jeden einzelnen Zahn Z bzw. jedes Inkrement als Solldrehzahlverlauf erhalten, indem die Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ als Funktionswert der durch das Polynom beschriebenen Funktion unmittelbar entnommen wird.

Auf Basis des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_n(z)$ wird im Weiteren für jede Umdrehung n das reale Winkelinkrement $\Delta\varphi_r(z)$ für jeden einzelnen Zahn in folgender Weise berechnet (Schritt 5):

$$\Delta\varphi_r(z) = \frac{\omega_n(z)}{f_{Zahn_n}(z)} = \frac{\omega_n(z)}{\frac{\omega_{mess_n}(z)}{2\pi / z}}$$

Unter Zugrundelegung der messtechnisch pro Umdrehung erfassten Zahn- bzw. Inkrementfrequenz f_{Zahn_n} (liegt als Messwert für jedes Drehgeberradinkrement bzw. jeden Zahn pro Umdrehung vor), die ins Verhältnis mit der berechneten Solldrehzahl $\omega_n(z)$ gesetzt wird, wird das fehlerbehaftete, pro Umdrehung ermittelbare Winkelinkrement $\Delta\varphi_r$ erhalten, von dem zur Berechnung des tatsächlichen geometrischen Winkelfehlers $\Delta\varphi_e(z)$ letztlich der Anteil der idealen Inkrementteilung $\Delta\varphi_i(z)$ subtrahiert werden muss: $\Delta\varphi_e(z) = \Delta\varphi_r(z) - \Delta\varphi_i(z)$.

Da die vorstehend beschriebene Berechnung des Winkelfehlerv Verlaufes $\Delta\varphi_e(z)$ auf der Basis der Berechnung des mittleren Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_n(z)$ beruht, werden jedoch die durch die zyklische Arbeitsweise des Verbrennungsmotors bedingten Drehzahlschwankungen, die letztlich durch das Wechselspiel der auf die Kurbelwelle einwirkenden Massen- und Gasmomente herrühren, zunächst ebenfalls

als Winkelfehler mit interpretiert. Die auf den Massen- und Gasmomenten beruhenden Drehzahlschwankungen fließen aufgrund der vorstehenden Mittelung zur Berechnung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_n(z)$ fehlerbehafteterweise in die vorstehenden Überlegung zur Ermittlung des Geometriefehlers $\Delta\varphi_e(z)$ ein. Um diesen Einfluss zu beseitigen bzw. weitgehend zu eliminieren wird eine Mittelung, vorzugsweise eine Scharmittelung über die geschätzten Winkelfehlerverläufe $\Delta\varphi_e(z)$ pro Umdrehung für einen bestimmten Drehzahlbereich des Auslaufversuches durchgeführt, bei dem sich die auf die Gas- und Massenmomente zurück gehenden Signalanteile gegenseitig kompensieren. Für eine derartige Scharmittelung ergibt sich folgender Formelzusammenhang (Schritt 6):

$$\Delta\varphi_{e_n}(z) = \frac{1}{k-l} \sum_{n=l}^k \left[\frac{\omega_n(z)}{f(z)} - \Delta\varphi_i(z) \right]$$

mit	$\Delta\varphi_{e_n}(z)$	inkrementeller Winkelfehler pro Umdrehung
	$\omega_n(z)$	inkrementelle Winkelgeschwindigkeit pro Umdrehung
	$f(z)$	Inkrementfrequenz
	$\Delta\varphi_i(z)$	Winkelinkrement für ideales Inkrement
	k, l	Umdrehungsindizes bei unterer und oberer Drehzahlgrenze

Die für die Scharmittelung relevanten unteren und oberen Drehzahlgrenzen (Umdrehungsindizes k und l) werden derart gewählt, dass sich die Auswirkungen der Massen- und Gasmomente auf die Kurbelwelle, durch die die vorstehend genannten Drehzahlschwankungen hervorgerufen werden, innerhalb des betrachteten

Drehzahlbereiches zueinander gegenphasig verhalten, so dass sich der hieraus sich ergebende Signalanteil gerade näherungsweise herausmittelt.

Zum Auffinden der optimalen Mittelungsgrenzen k, l sind zwei unterschiedliche Methoden anwendbar (Schritt 7):

1. Bei der Durchführung eines Auslaufversuches wird zunächst jene Sprungdrehzahl aufgesucht, bei der ein Phasensprung im Wellendrehzahlsignal bedingt durch einen Wechsel der Dominanz zwischen Gas- und Massenmomenten auftritt. Der nun festzulegende Drehzahlbereich, innerhalb dem die Scharmittelung durchgeführt wird, ergibt sich durch eine geeignete symmetrische oder asymmetrische Festlegung bestimmter Anzahlen von Umdrehungen vor und nach der Sprungdrehzahl derart, dass ein im Drehzahlsignal enthaltener Wechselanteil nach der Mittelung möglichst klein wird. Idealerweise könnten symmetrische Drehzahlgrenzen um die aufgefundene Sprungdrehzahl gewählt werden, jedoch ist aufgrund der unterschiedlichen Amplituden des Wechselanteils des Drehzahlsignals in Abhängigkeit der jeweiligen Umdrehung n eine individuelle Grenzenwahl zumeist erforderlich.
2. Eine andere Möglichkeit der Drehzahlgrenzenwahl besteht darin, zunächst den inkrementellen Winkelfehler $\Delta\varphi_n(z)$ ausgehend von einem bestimmten Startpunkt l als Funktion des Endpunktes k zu ermitteln. Nun gilt es, eben jenen Drehzahlbereich auszuwählen, in dem der Winkelfehler am kleinsten ist. Wird der Winkelfehlerverlauf bspw. relativ zu einer Nulllinie aufgetragen, so sind die geeigneten Intervallgrenzen gerade um jenen Bereich zu wählen, in dem die vom Winkelfehlerverlauf mit der Nulllinie eingeschlossene Fläche am kleinsten ist. Bei falsch gewähltem Intervall sind im geschätzten Winkelfehler noch sichtbare Signalanteile der Gas- und Massenmomente vorhanden. Diese Signalanteile führen jedoch zu einer Vergrößerung der Fläche. Die aus der graphischen Überlegung basierende Intervallgrenzenbestimmung ist sowohl für eine manuelle als auch für eine rechnergestützte automatische Durchführung geeignet.

Bei einer automatischen Intervallgrenzenbestimmung wird zunächst eine "Startdrehzahl", sinnvollerweise der Beginn des Auslaufversuches bei der Höchstdrehzahl, bestimmt. Die Scharmittelung wird anschließend ausgehend von dieser "Startdrehzahl" Schritt haltend mit jeder Umdrehung durchgeführt. Auf diese Weise ergibt sich für jede Umdrehung n eine Schar gemittelter geschätzter Winkelfehlerverläufe. Am Ende des Auslaufversuches wird ein geeigneter Winkelfehlerverlauf gewählt, der die kleinste Fläche mit der vorstehend beschriebenen Nulllinie einschließt. Die gleiche Prozedur kann mehrmals wiederholt werden, um die "Startdrehzahl" sowie "Enddrehzahl" zu optimieren.

Durch die vorstehend erläuterte Scharmittelung können jegliche die Fehlerberechnung verfälschende Nutzsignalanteile, die systembedingt einen Wechselanteil im Winkelgeschwindigkeitsverlauf verursachen, wenn nicht vollständig beseitigt, so doch weitgehend reduziert werden. Als Ergebnis erhält man eine hochpräzise Fehlerangabe für jedes einzelne Inkrement des Drehgeberrades pro Umdrehung. Mögliche, die Fehlerbestimmung verfälschende Einflüsse von Seiten des Messaufnehmers können, falls vorhanden, kompensiert werden und entsprechende Berücksichtigung finden.

Der mit dem vorstehenden Verfahren ermittelte Geometriefehler eines Drehgeberrades dient in vorteilhafter Weise zur Korrektur bzw. Kompensation bei der Drehzahlbestimmung von Verbrennungsmotoren unter Verwendung inkrementieller Drehgeberräder. Somit ergibt sich der kompensierte Winkelgeschwindigkeitsverlauf ω_{comp} der mit einem Drehgeberrad erfassten Rotation einer Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors in folgender Weise (Schritt 8):

$$\omega_{comp} = \frac{\Delta\varphi_r(z)}{f_{Zahn}(z)}$$

Alternativ zu dem vorstehend erläuterten Auslaufversuch, bei dem ein Verbrennungsmotor nach Erreichen einer Höchstdrehzahl abgeschaltet und das

Drehzahlverhalten bis zum Stillstand vermessen wird, können auch beliebig andere Messbedingungen, bei denen eine ausreichend große Variation in der Phasenbeziehung zwischen Massen- und Gasmomenten auftritt, als Basis für die Geometriefehlerbestimmung dienen. An dieser Stelle seien Schlepp- und Drückungsversuche sowie die Leerlaufmessung bei hoher Drehzahl genannt. Jedoch stellen gerade die Auslaufversuche wegen der fehlenden Verbrennung und der einfachen Durchführbarkeit einen idealen Messmodus dar.

Handelt es sich jedoch bei den zu untersuchenden Verbrennungsmotoren um Motoren mit ungerader Zylinderanzahl, so ist aufgrund der Symmetrieverhältnisse jede beliebige Messung als Basis für die Geberradadaption geeignet, da bei derartigen Motoren das Drehzahlsignal bezüglich zweier aufeinander folgender Umdrehungen eines Arbeitsspiels als gegenphasig bezeichnet werden kann.

Bezugszeichenliste

D	Drehgeberrad
Z	Zahn, Inkrement
U	Umfangsrand

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoriell erfassbaren Inkrementen für einen Verbrennungsmotor, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist, dadurch **gekennzeichnet**, dass bei einer zeitlich veränderlichen Wellendrehzahl eine Messung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_{mess}(t)$ der Welle sowie eine Mittelung über die bei der Messung gewonnenen Wellendrehzahlsignale durchgeführt wird, und dass die Mittelung innerhalb eines Wellendrehzahlbereiches durchgeführt wird, in dem sich die Auswirkungen der im Verbrennungsmotor auf die Welle einwirkenden Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch **gekennzeichnet**, daß ausgehend von dem gemessenen Winkelgeschwindigkeitsverlauf $\omega_{mess}(t)$ eine mittlere Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ pro Wellenumdrehung (n) zumindest näherungsweise berechnet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch **gekennzeichnet**, daß aus der mittleren Winkelgeschwindigkeit $\bar{\omega}_n$ eine Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ zumindest näherungsweise berechnet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch **gekennzeichnet**, daß aus wenigstens zwei berechneten mittleren Winkelgeschwindigkeiten $\bar{\omega}_{n-1}$ und $\bar{\omega}_{n+1}$ die Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ berechnet wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch **gekennzeichnet**, daß der Verlauf der Inkrement (z) bezogenen Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ durch ein Polynom zumindest angenähert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Inkrement (z) bezogene Winkelgeschwindigkeit $\omega_n(z)$ als Funktionswert der durch das Polynom beschriebenen Funktion entnommen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Mittelung eine Scharmittelung ist, die über die auf das Inkrement (z) bezogenen Winkelgeschwindigkeiten $\omega_n(z)$ pro Inkrement (z) und Wellenumdrehung (n) unter Zugrundelegung folgender Beziehung durchgeführt wird, durch die als Geometriefehler ein inkrementeller Winkelfehler pro Umdrehung angegeben wird:

$$\Delta\varphi_{e_n}(z) = \frac{1}{k-l} \sum_{n=l}^k \left[\frac{\omega_n(z)}{f(z)} - \Delta\varphi_i(z) \right]$$

mit	$\Delta\varphi_{e_n}(z)$	inkrementeller Winkelfehler pro Umdrehung
	$\omega_n(z)$	inkrementelle Winkelgeschwindigkeit pro Umdrehung
	$f(z)$	Inkrementfrequenz
	$\Delta\varphi_i(z)$	Winkelinkrement für ideales Inkrement
	k, l	Umdrehungsindizes bei unterer und oberer Drehzahlgrenze

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die zeitlich veränderliche Wellendrehzahl im Rahmen eines Auslauf-, Schlepp- oder Drückungsversuches erhalten wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Drehzahlbereich, innerhalb dem sich die Einflüsse der Gas- und Massenmomente auf die Wellendrehzahl gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben, derart gewählt wird, dass zunächst jene Sprungdrehzahl aufgesucht wird, bei der ein Phasensprung im Wellendrehzahlsignal bedingt durch einen Wechsel an Dominanz zwischen Gas- und Massenmomenten auftritt, und dass der Drehzahlbereich derart um diese Sprungdrehzahl gewählt wird, dass ein im Drehzahlsignal enthaltener Wechselanteil nach dessen Mittelung möglichst klein wird.
10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch **gekennzeichnet**, dass der Drehzahlbereich innerhalb dem sich die Einflüsse der Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben derart gewählt wird, dass der inkrementelle Winkelfehler $\Delta\varphi_{\epsilon}(z)$ als Funktion der Drehzahl ermittelt wird, und dass jener Drehzahlbereich ausgewählt wird, in dem der Winkelfehler am kleinsten ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüchen 1 bis 7, dadurch **gekennzeichnet**, dass im Falle eines ungeradzahlig-zylindrigen Verbrennungsmotors ein beliebiger Drehzahlbereich zur Winkelgeschwindigkeitsmessung bei der Bestimmung des Geometriefehlers verwendet wird.
12. Verfahren zur Kompensation von Geometriefehlern eines Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoruell erfassbaren Inkrementen für einen Verbrennungsmotor, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomenten des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist, dadurch **gekennzeichnet**, dass eine Geometriefehlerbestimmung nach einem der Ansprüche 1 bis 11 durchgeführt wird, und dass der damit erhaltene inkrementelle Winkelgeometriefehler $\Delta\varphi_{\epsilon}(z)$ zur Korrektur bei der Drehzahlbestimmung des Verbrennungsmotors verwendet wird.

Zusammenfassung

Beschrieben wird ein Verfahren zum Bestimmen von Geometriefehlern eines an einem Verbrennungsmotor applizierten Drehgeberrades mit einer Vielzahl von sensoruell erfassbaren Inkrementen, das an einer unmittelbar oder mittelbar durch Gas- und Massenmomente des Verbrennungsmotors in Rotation versetzbaren Welle angebracht ist.

Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass bei einer zeitlich veränderlichen Wellendrehzahl eine Messung des Winkelgeschwindigkeitsverlaufes $\omega_{mess}(z)$ der Welle, sowie eine Mittelung über die bei der Messung gewonnenen Wellendrehzalsignale durchgeführt wird, und dass die Mittelung innerhalb eines Wellendrehzahlbereiches durchgeführt wird, in dem sich die Auswirkungen der im Verbrennungsmotor auf die Welle einwirkenden Gas- und Massenmomente auf die Kurbelwellenwinkelgeschwindigkeit gegenseitig zumindest weitgehend statistisch aufheben.

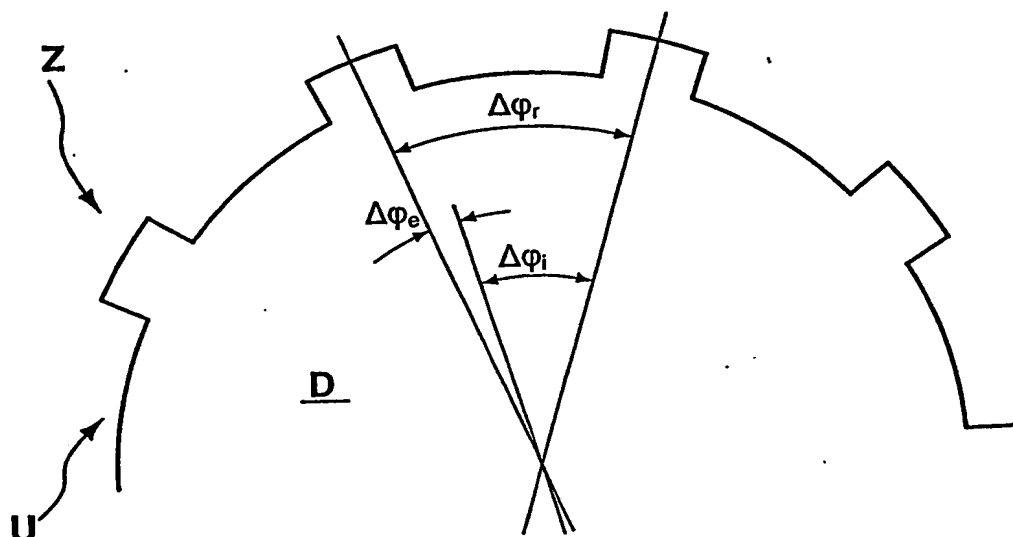


Fig. 1

Schritt 1

Gemessener Winkelgeschwindigkeitsverlauf

Schritt 2

Bestimmung der mittleren Winkelgeschwindigkeit für jede Umdrehung

$\omega_{Mess}(z)$

$\overline{\omega}_n$

Schritt 3

Bestimmung des Auslaufbeginns:
 $n=l$

$\overline{\omega}_n$

Schritt 4

Approximation des Winkelgeschwindigkeitsverlaufs jeder Umdrehung durch eine Gerade mit:
 $\overline{\omega}_{n-1}, \overline{\omega}_n, \overline{\omega}_{n+1}$

$\omega_n(z)$

Schritt 5

Bestimmung der Winkelabweichung:

$$\Delta \varphi_{r_n}(z) = \frac{\omega_n(z)}{\frac{\omega_{Mess}(z)}{2\pi / Z}}$$

mit:

$$\Delta \varphi_{e_n}(z) = \Delta \varphi_{r_n}(z) - \Delta \varphi_i$$

$\Delta \varphi_{e_n}(z)$

Schritt 6

Sukzessive Scharmittelung über Auslauf und Mittelwertbefreiung
 $j=l+1 \dots m$

$\overline{\Delta \varphi_{e_{ij}}}(z)$

Schritt 7

Bestimmung des Minimums des integralen Fehlers und daraus des Endpunktes des Mittelungsintervalls
 $j=k$

$\Delta \varphi_{e_{ik}}(z) = \Delta \varphi_{e_n}(z)$

Schritt 8

Geschätzter Winkelfehlerverlauf

Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.